

Halmens betydelse för kolhalten

– Föra bort eller bruka ner – hur påverkar det kolhalten i
marken

Rickard Karlsson



Halmens betydelse för kolhalten

– Föra bort eller bruka ner – hur påverkar det kolhalten i marken

Importance of straw for soil organic carbon

Rickard Karlsson

Handledare: Thomas Prade, SLU, Biosystem och teknologi

Examinator: Linda-Maria Mårtensson, SLU, Biosystem och teknologi

Omfattning: 10 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G1E

Kurstitel: Examensarbete för lantmästarprogrammet inom lantbruksvetenskap

Kurskod: EX0619

Program/utbildning: Lantmästare - kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2016

Omslagsbild: Rickard Karlsson

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: halm, kolhalt, mull, kolinlagring, markkol, struktur, jordförbättring



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi

FÖRORD

Lantmästare-kandidatprogrammet är en treårig universitetsutbildning vilken omfattar 180 högskolepoäng (hp). Man kan också välja att ta ut lantmästarexamen inom lantbruksvetenskap efter två år, motsvarande 120 hp. En av de obligatoriska delarna i denna är att genomföra ett eget arbete som ska presenteras med en skriftlig rapport och ett seminarium. Detta arbete kan t.ex. ha formen av ett mindre försök som utvärderas eller en sammanställning av litteratur vilken analyseras. Arbetsinsatsen ska motsvara minst 6,7 veckors heltidsstudier (10 hp).

Jag har själv alltid varit intresserad av växtodling som varit en stor del av min uppväxt. Idén till att göra detta examensarbete har vuxit fram över en längre tid. Då jag upplever att många lantbrukare anser att deras jordar blivit allt mer svårbrukade, framförallt de som installerat en halmpanna på gården och därmed för bort mycket halm från fälten. Jag ville därför undersöka hur mycket halm från framförallt spannmål påverkar kolhalten i marken och vad det får för effekt för odlingsförutsättningarna.

Ett varmt tack riktas till forskare Thomas Prade som varit min handledare under detta examensarbete. Jag vill också tacka forskare Linda-Maria Mårtensson som har varit min examinator.

Alnarp maj 2016

Rickard Karlsson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	3
SUMMARY	4
INLEDNING.....	5
BAKGRUND	5
<i>Kolets processer i marken</i>	5
<i>Hur kolhalten påverkas</i>	8
<i>Kolhalten i Svensk åkermark</i>	8
MÅL OCH SYFTE	10
AVGRÄNSNING.....	10
MATERIAL OCH METOD	10
RESULTAT	11
HALMENS UPPBYGGNAD OCH NÄRINGSINNEHÅLL	11
BIOMASSAN UNDER MARKYTAN.....	12
HALMENS AVKASTNING	12
HALMENS NEDBRYTNING	13
RESULTAT FRÅN FÄLTSTUDIER	14
BERÄKNA KOLBALANSEN	18
DISKUSSION OCH SLUTSATSER	19
REFERENSER	21
BILAGOR.....	25

SAMMANFATTNING

Halmens användningsområde är en ständigt aktuell fråga och det diskuteras vart den gör bäst nytta: kvar på fältet som jordförbättring, i pannan som bioenergi eller som strö i djurstallar. Många har räknat på halmens ekonomiska värde ur näringsämnessynpunkt, både i Sverige och övriga världen. Halmen kan också ha viktigt biologiskt värde som bör beaktas, särskilt om man inte har tillgång till stallgödsel på sin gård. Halmanvändning är något som intresserar lantbrukare runt om i landet som anser att deras jordar börjar bli allt mer fattiga på maskar, porer och aggregat samtidigt som man upplever att skorpbildning blir allt vanligare och därmed svårare att bruka jorden trots nya jordbearbetningssystem. Enligt en sammanställning som gjorts på uppdrag av naturvårdsverket där tillståndet i svensk åkermark undersöktes med jordprover från 2001-2007 har ca 40 % av mineraljordarna i landet idag en kolhalt som är lägre än 2 % i matjordslagret (0-20 cm). Framförallt i Skåne där jordproverna visade ett medel på 1,5 % kol i matjordslagret (Eriksson et al. 2010).

Vintern 2013-2014 anordnades en workshop i Skåne där ett tjugotal lantbrukare deltog. Där fick de bland annat svara på frågor om sina jordars hälsa och bördighet. 75 % av dem uppskattade att de hade ca 2 % kol i matjorden. 100 % svarade att mullhalten är viktig och något som bör arbetas mer ingående för att öka. Endast en tredjedel svarade att de hade gjort riktade insatser för att försöka öka mullhalten.

Kol är en av grunderna till allt liv och mullhalten i marken är därför direkt avgörande för odlingsegenskaperna i vår åkermark. En högre mullhalt ökar vattenhållande förmågan och aggregatbildningen i marken. Mull står dessutom för en betydande del av det förråd av näringsämnen till växterna som finns i marken. Därför har en bred litteraturgenomgång genomförts där litteratur från Skandinavien och Europa gått igenom för att försöka få svar på min frågeställning.

Det är svårt att dra konkreta slutsatser av hur mycket halmen bidrar till att höja kolhalten, eftersom det är många parametrar som påverkar, t ex klimat, jordart, utgångsläge för kolhalten, val av gröda och sort, jordbearbetningssystem, gödseltyper m.m. Att förändra kolhalten i marken tar lång tid och kräver därför mångåriga insatser eller permanenta förändringar. Det är därför viktigt att planera hur man ska agera för att öka kolhalten i marken. Eftersom det är så många parametrar som påverkar just halmens betydelse för kolhalten i marken har inte målet med denna studie varit att kunna ge exakta svar, utan snarare kunna kartlägga de viktigaste parametrarna och beskriva dess betydelse för uppbyggandet av markkol.

SUMMARY

The use of straw is a frequently discussed topic, in particular as to where it is most useful: left in the field to increase soil organic carbon (SOC), to burn it for bioenergy or as bedding for animals. Many have sought to calculate the economic value of straw, from a nutrient point of view, both in Sweden and worldwide. Straw can also have important biological value for the soil, especially for those farmers who do not have access to animal manure at their farms. Straw utilization is something that interests farmers across Sweden. Many of them believe that their soil experiences decreasing levels of worms, aggregates and pores while they also experience more crusting and difficulties to cultivate the land despite new tillage systems. According to a statement made on behalf of the Swedish Environmental Protection Agency (Sw: *Naturvårdsverket*), where the state of Swedish farmland was examined from soil samples taken during 2001-2007, about 40% of the mineral soils in the country today have carbon levels of less than 2% in the topsoil (0-20 cm). Especially in southern Sweden where the topsoil samples showed an average carbon level of 1.5% (Eriksson et al. 2010).

A workshop with about twenty participating farmers took place in southern Sweden in the winter of 2013-2014, the farmers answered a questionnaire regarding their view on their land and its fertility. 75 % of them claimed to have about 2 % SOC in the topsoil. 100 % said the humus content is important and something that should be worked more thoroughly with in order to increase it. Of all participants, only one third replied that they had made targeted efforts to try to increase the humus content.

Carbon is one of the foundations of all life and humus content of the soil is crucial for the growth characteristics of our arable land. Higher humus content increases water holding capacity and aggregate formation in the ground. Humus also stands for a significant portion of the supply of nutrients to the plants in the soil. Therefore, a broad literature survey was carried out screening literature from Scandinavia and Europe in order to seek answers to my question.

It is difficult to draw concrete conclusions how much the straw helps to raise SOC, since there are many parameters that influence this process such as climate, soil type, initial SOC content, choice of crop and variety, tillage systems, fertilizer types, etc. Changing the carbon content in the soil is a slow process and requires long-term measures, or permanent changes. It is therefore important to plan any actions to increase the carbon content of the soil. There are many parameters that affect the importance of straw for the carbon content of the soil. Therefore, the goal of this study has not been to provide precise answers, but rather to identify the key parameters and describe its importance to the building of soil carbon.

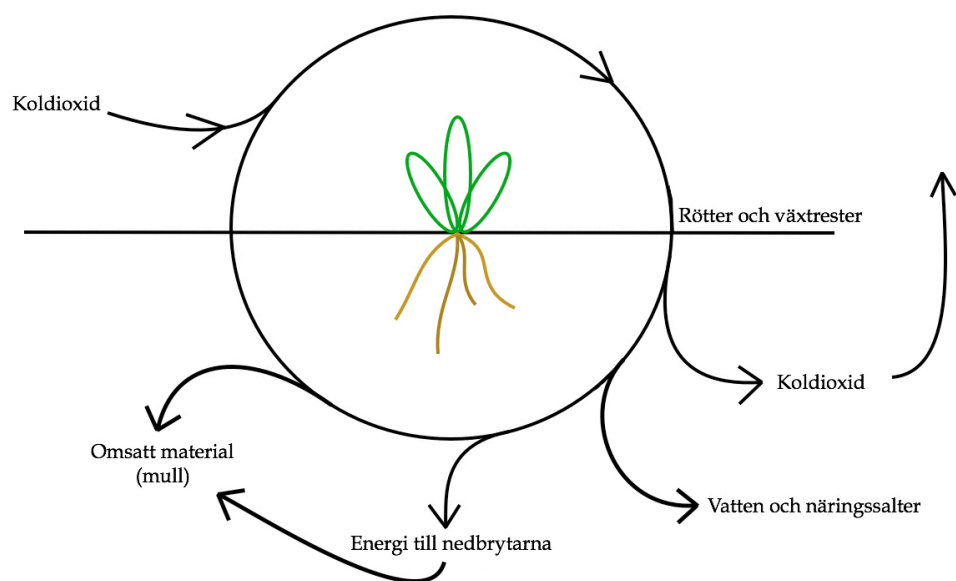
INLEDNING

Bakgrund

Kolets processer i marken

Kol är ett grundämne som finns i allt levande på jorden och utgör en grundförutsättning för allt liv. Kol rör sig mellan jordens sfärer, atmosfären (luft), hydrosfären (vatten) och biosfären (allt levande). I luften förekommer kol i form av koldioxid. Koldioxiden tas upp av växter som genom fotosyntesen omvandlas till socker. Sockret används sedan i växten för uppbyggnad, bland annat av cellulosa. Uppbyggnaden kräver energi och en del av det socker som bildas används till energi för att driva växternas metabolism, denna typ av förbränning är det vi kallar för cellandning.

Sockermolekylerna förbränns i cellerna tillsammans med syre och bildar då återigen koldioxid och vatten. När en växt blir uppäten av ett djur kan djuret använda växtens inlagrade energi till att driva cellandningen. En växt kan också förmultna i marken, och omsätts då bland annat av smådjur, mikroorganismer och svampar. I normal åkerjord kan det finnas uppemot 25 ton levande organismer per hektar i de översta 15 centimetrarna (Jordbruksverket 2005). Halm och växtrötter kallas för lättomsättbart material eftersom det fungerar som energikälla till de olika organismerna (Emmerman et al. 1999 s 239). Beroende på vilken typ, del och ålder av en växt, så tar nedbrytningen olika lång tid. Socker och proteiner bryts ned på några dagar medan cellulosa kan behöva upp till en månad. Lignin är ännu svårare för organismerna att bryta ned. Eftersom mikroorganismerna inte lyckas bryta ned allt och därmed omsätta kol till bl.a. koldioxid, så bildas så kallat omsatt material (figur 1). Det omsatta materialet är mer stabilt eftersom det är bättre skyddat mot fortsatt nedbrytning, vilket resulterar i det som vi kallar för humusämnen (Person 2003). Humus kallas också till vardags för mull. Delar av kolet fastläggs som byggstenar i mikroorganismerna och blir tillgängligt i marken först när organismen dör.



Figur 1. Kolets kretslopp från koldioxid i luften till omsatt material (mull) i marken.

Humus innehåller många svaga syragrupper vilket har en surgörande effekt på markvätskan. Detta bidrar till att öka markens katjonbyteskapacitet, exakt hur mycket beror på andelen baskatjoner i markvätskan som exempelvis kalium och kalcium. Växternas upptag av katjoner har också en försurande effekt på markvätskan, vilket leder till säsongvariationer av pH-värdet i marken. Dock leder detta bara till en långsiktig minskning av pH i marken om biomassan, exempelvis halm, ständigt förs bort. Brukas biomassan ner neutraliseras pH-sänkningen när växtdelarna bryts ned (Eriksson et al. 2014 s 106, 108, 230). Eftersom det organiska materialet är negativt laddat binder det positivt laddade näringsämnen till sig. Samtidigt innehåller det organiska materialet mycket organisk bunden näring vilket ökar det totala näringsinnehållet i marken. Hur mycket beror dels på andelen organiskt material men också på jordarten. Sand har en låg katjonbyteskapacitet från 1-10 CEC (Cation Exchange Capacity). Medan lera har en hög katjonbyteskapacitet på 20-120 CEC. Organiskt material har en katjonbyteskapacitet på 150-500 CEC. Ju högre katjonbyteskapacitet, desto mer näringsämne kan lagras. En sandjord är därför mer beroende av organiskt material för att kunna lagra näring och reducera utlakning, än en lerjord (Golfkötselhandboken 2006). Jordarten har också inverkan på hur mycket organiskt material som kan fastläggas i marken. En lerjord med 50 % lerhalt har dubbelt så hög minimihalt av organiskt material i jämförelse med en sandjord som endast innehåller några få procent ler (Eriksson et al, 2014 s 120). Så länge växtnäringen är bunden i humusen utsätts den inte för utlakning. Däremot föreligger alltid risk för erosionsförluster både ovan och under jordytan eftersom det organiska materialet binds samman med hjälp av ler- och markpartiklar (Emmerman et al. 1999 s 241). För att näringen i humusen ska bli tillgänglig för växterna krävs det att den frigörs genom mineralisering och vittring.

Mineraliseringen är i regel som störst när mikroorganismerna är som mest aktiva. Deras aktivitet är som högst vid en jordtemperatur på 15-20°C och en vattenmättnad i jorden

runt 50 %, dessa förhållanden uppstår oftast på hösten i Sverige (Emmerman et al. 1999 s 242). Mineraliseringens hastighet beror också på kvävehalten i växtmaterialet. Låg kvävehalt gör att mikroorganismerna inte får tillräckligt med kväve från växtmaterialet och får då istället ta kväve från markvätskan för att bygga sina celler, s.k. immobilisering. Immobilisering är den process när redan mineraliserat kväve tas upp av mikroorganismerna i form av nitrat- och ammoniumjoner. Kvävet fastläggs då igen till att bli organiskt bundet som energikälla för organismerna. Detta ger dock inget nettounderskott på kväve då det frigörs igen när organismerna dör. Vid kväverikt växtmaterial kan organismerna använda det kväve som finns i växten och det ger då ett högt utflöde av ammoniumkväve i markvätskan. Där blir kvävet lättillgängligt för växternas upptag, men det finns dock alltid en risk för utlakning när kvävet finns fritt i markvätskan. (Emmerman et al. 1999 s 202). Hög kvävehalt i marken gynnar dagmaskar som blandar om växtmaterialet med jordpartiklarna, vilket ger en inblandning av mullämnet. En kvävefattig jord får istället det organiska materialet liggande på ytan, såvida inte växtresterna bearbetas ned i jorden på mekaniskt väg.

Av det organiska material som vi till vardags kallar för mull, så utgör kol 50 % av beståndsdelarna (Pribyl 2010). Vidare innehåller mull också näringsämnen, kväve 5-6 %, fosfor 0,04-0,2 % och svavel 0,02-0,06 % mätt i torrsubstans (Eriksson et al. 2014 s 124). Mull står därför för en betydande lagring av det organiska kväve, fosfor och svavel som finns i marken. Mull har en god förmåga att förbättra aggregatstrukturen och porbildningen i marken. Sandjord är av så kallad enkelkornsstruktur och bildar sällan aggregat. Organiskt material kan bilda svaga ”bryggor” till mineralpartiklarna, eller små rötter som bildar ett ”nät” runt partiklarna, men dessa är lätta förstöra (Emmerman et al. 1999 s 74). I lerjordar däremot är bindningarna mellan mineralpartiklar och organiska partiklar betydligt starkare. De större aggregaten hålls samman av rötter och svamphyfers armering. Mindre aggregat hålls samman av kemiska bindningar mellan lermineraler och organiska material, s.k. ler-humuskomplex. Dessa komplex är en viktig del i uppbyggnaden av stabila aggregat. (Eriksson et al. 2014 s 45). Vattnet i marken finns i porer och bundet direkt på partikelytorna, det finns även vatten i aggregatens porer. Det är därför viktigt att det finns många porer både i marken och i aggregaten som kan transportera och hålla vatten. En mineraljord är därför beroende av det organiska materialets förmåga att kunna bilda porer och aggregat. En jord som saknar mull blir således med tiden kompakt och saknar porer. Förutom att transportera vatten är porerna också viktiga för att växrötterna ska kunna utvecklas, liksom för att maskarna lättare ska kunna röra sig i marken och skapa ännu fler porer. Rötterna har lättare att tränga sig djupare ner i alven i en lerjord än i en sandjord. Växrötter från en spannmålsgröda kan i en väl-dränerad lerjord tränga ner 2 meter djupt, medan samma rötter endast kommer ca 50 cm djupt i en sandjord. Organiskt material som bryts ned djupare ner i marken har en positiv inverkan på rotutvecklingen för nästkommande gröda. Eftersom näringen finns tillgänglig längre ner i markprofilen söker sig rötterna längre ner. I sandjord kan det vara en fördel att försöka blanda in det organiska materialet så djupt ner som möjligt för att sänka mullhalten något i matjorden. På så vis letar sig rötterna längre ner vilket ökar vattenförsörjningen (Granstedt 2003).

Hur kolhalten påverkas

Det är många parametrar som påverkar kolhalten i marken. Kolhalten kan förändras över tid, både globalt, regionalt och inom det enskilda fältet. Om inflödet av kol till marken genom olika typer av organiskt material är mindre än utflödet genom mineralisering och erosion kommer den totala kolhalten succesivt att sjunka. Detta pågår tills dess att jämnvikt uppnås; när inflödet och utflödet är lika stort. Om inflödet istället är större än utflödet kommer kolhalten att stiga till dess att en ny högre jämnvikt uppnås (Eriksson et al. 2014 s 121). Kolhalten kan även variera beroende på topografin över fältet. Ett kuperat fält med kullar och svackor kan ge en ojämn kolhalt. På kullar är kolhalten som lägst medan den är som högst i svackor. Detta beror på sämre syretillförsel i svackorna vilket sänker omsättningshastigheten av det organiska materialet. En långsammare omsättning ger större andel fastlagt kol i marken (Eriksson et al. 2014 s 121).

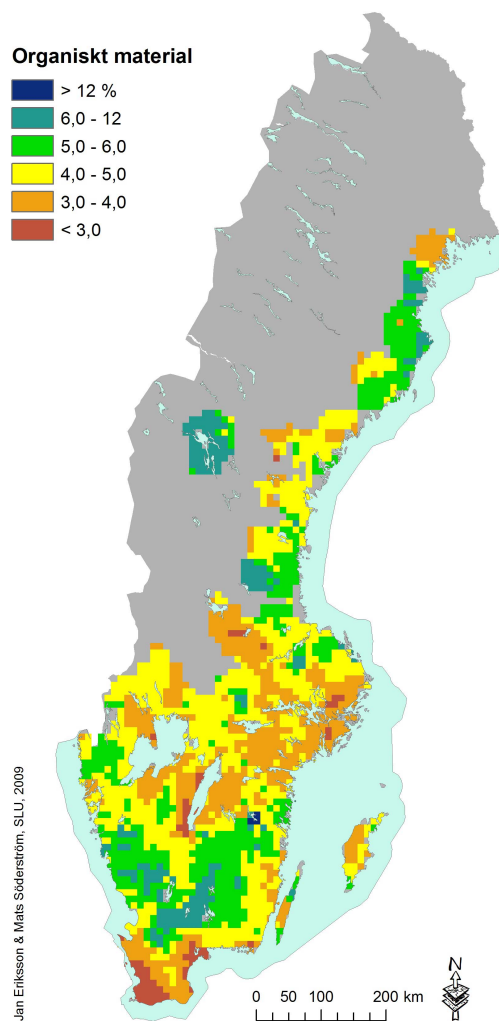
Även jordbearbetning påverkar kolhalten. Genom jordbearbetning kommer syre ner i marken vilket nedbrytarna behöver för att kunna bryta ned sockret i cellerna och därmed bilda koldioxid och vatten. Jordbearbetning skapar också nya ytor på mineralpartiklarna genom sönderdelning av aggregat m.m. vilket ökar tillgängligheten av organiskt material för nedbrytarna i marken och även risken för jorderosion (Eriksson et al. 2014 s 122).

För att jorden ska kunna prestera är det viktigt att se till att hålla sin markkolshalt på en nivå som är tillräckligt hög. Enligt Naturvårdsverket går gränsen för en odlingsduglig jord vid 1,2 % organiskt kol i matjorden (0-20 cm) vilket motsvarar en mullhalt på ca 2,4 % (Naturvårdsverket 2016). Flera forskare menar på att jorden uppnår sin fulla potential vid en markkolshalt på 2 %, d.v.s. en mullhalt på 3,4 %. Det råder dock delade meningar om huruvida gränsen är så knivskarp. Greenland et al (1975) fann att aggregaten i jorden inte blir stabila nog för att räknas som strukturförbättringar förrän kolhalten i marken är minst 2 % eller mer. Men Loveland och Webb (2003) påpekade att deras resultat bara var ett mått på markens stabilitet och inte prestationsförmåga avseende skördepotential. Spink et al. (2010) sammanfattar flera olika resultat med att en jord som innehåller minst 2 % kol i matjorden kan utan tvivel anses vara i gott skick både vad gäller aggregatstabilitet, vattenhållandeförmåga och näringsförråd.

Kolhalten i Svensk åkermark

SLU startade 1988 ett projekt som kallas för "åkermarksinventeringen". Hittills har inventeringen gjorts i två omgångar där den senaste avslutades 2007. Nu är den tredje omgången igång. Under de första två omgångarna tog man totalt 5100 jordprover från matjorden över hela landet för att kartlägga jordart, tillgång på näringsämnen, kolhalt m.m. (Eriksson et al. 2010). Enligt denna studie var kolhalten i svensk åkermark 2,4 % i median och 3,8 % i medel, vilket motsvarar en mullhalt på 3,8 % resp. 6 %. Dock med stora variationer med tanke på landets stora jordartsvariation. De stora skillnaderna mellan medel- och medianvärde beror på att torvjordar innehåller betydligt mycket mer kol än vad mineraljordar gör, detta drar det upp snittet men ger mindre påverkan på medianvärdet. Avgränsar man statistiken till de större slättbygderna som exempelvis Skåne som till allra största del består av mineraljordar är nivåerna annorlunda.

Medelvärde för kolhalten i Skåne är 2,65 % och medianvärdet 1,87 %, vilket motsvarar en mullhalt på 4,1 % resp. 2,9 %.



Halt organiskt material i matjorden. Data från omdrev 1 och 2 sammanslagna. Antal värden 5 179.

Figur 2 visar kolhalten i svensk åkermark i genomsnittsprocent, åren 1988-2007, i matjordslagret (Eriksson och Söderström 2009).

Innan man går närmare in på halmens bidrag till kolhalten bör man först förstå kolets kretslopp och dess processer i marken. Detta ger en bättre förståelse för vilka faktorer som är avgörande och framförallt påverkbara för den enskilda lantbrukaren. Det ger också en djupare förståelse för varför halmens påverkan på markkolshalten är så varierande.

Mål och syfte

Denna litteraturstudie har genomförts med målet att kartlägga vilka parametrar som påverkar halmens bidrag till markkolsuppbbygget. Ett delmål var att undersöka huruvida stråsädesbalm kan, och i så fall hur mycket, bidra till en högre kolhalt i marken. Baserat på en omfattande litteraturgenomgång har ett antal generella råd sammanställts som kan komma att vara till nytta för svenska lantbrukare vid värdering av sin balm både på kort och lång sikt.

Avgränsning

Denna studie har fokuserat på att studera stråsädesbalm och utifrån denna bedöma dess bidrag till markkolen. Halmens värde för jorden och dess kvalitet har undersökts, men balmen som en produkt som går att sälja till andra ändamål har inte beaktats.

Material och metod

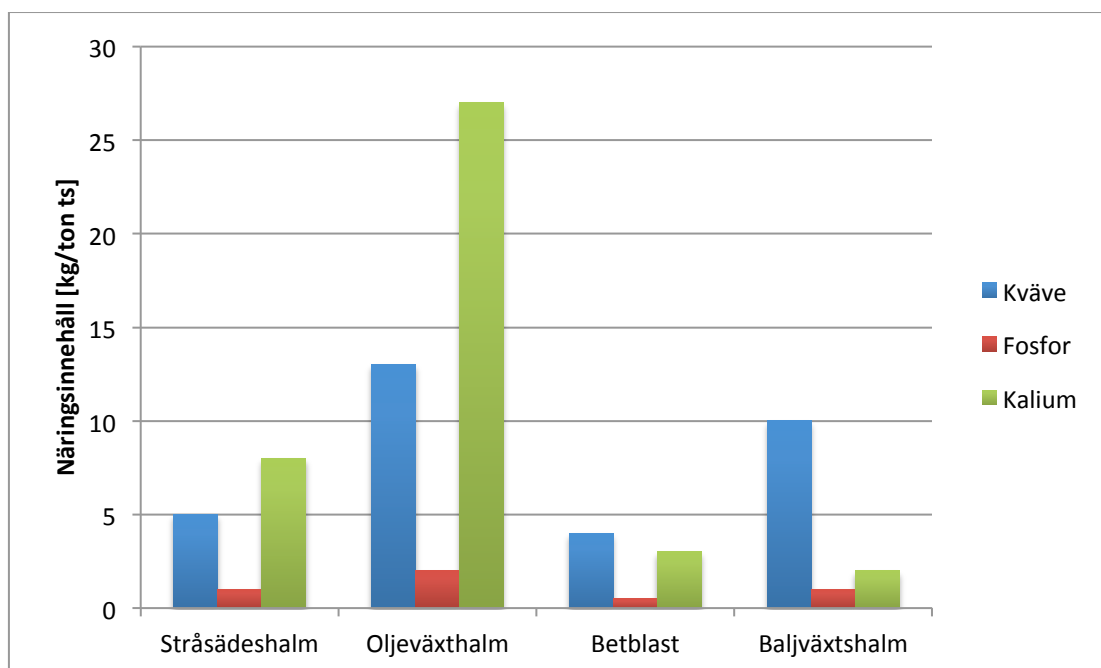
Studien har baserats på en bred litteraturgenomgång som omfattat läroböcker, rapporter och vetenskapliga studier. Den litteratur som använts har i huvudsak utgjorts av aktuell svensk och dansk litteratur, men även studier från andra europeiska länder. Även svenska och danska odlingsförsök har studerats.

RESULTAT

Halmens uppbyggnad och näringsinnehåll

Halm liksom övriga växtrester består av cellulosa, hemicellulosa och lignin, men även lipider, proteiner, pektiner och mineralämnen. I marken bryts halmen ned av mikroorganismer och markdjur till mestadels vatten, koldioxid och näringssalter. En del av halmens organiska massa omsätts till mullämne tillsammans med det som bildas vid mikroorganismernas och markdjurens tillväxt, så kallat humifierat material. Den allra största delen av markens organiska material består av just humifierat material.

Halm varierar stort i näringsinnehåll beroende på vilken typ av halm det är (figur 3). Beroende på hur mycket näring halmen innehåller påverkas både nedbrytningshastigheten och förutsättningarna för nästa gröda. Ju lägre kväveinnehåll som finns i halmen desto mer kväve behöver mikroorganismerna ta ifrån markkvätskan för att överleva och bryta ned halmen. Är tillgången på mineralkväve i marken begränsad kommer nedbrytningen ta längre tid och mängden tillgängligt kväve för den nya grödan minskar (Jarlsvik et al. 1994).



Figur 3. Halm av olika typ och dess innehåll av kväve, fosfor och kalium i kg per ton ts halm (Emmerman et al. 1999 s 244).

Ett mer förenklat sätt att räkna fram, framförallt kväveinnehållet för stråsädesbalm, är 0,5 % N av ts, och motsvarande siffra för oljeväxtshalm är 0,6 % (Holmes 1980; Jordbruksverket 2002)

Stråsädeslalm har en kol/kväve-kvot på 80-100 (Knudsen 2000). Kol/kväve-kvoten kan man räkna ut genom att dividera kolhalten i halmen med kvävehalten i halmen. Stråsädeslalm består av ca 40 % kol (Bertilsson 2009), dividerat med kvävehalten som i det här fallet är ca 0,5 % får man fram en kol/kväve-kvot på 80. För att nå ett förhållande mellan mängden kol och kväve då inget kväve immobiliseras behöver kol/kväve-kvoten vara runt 25-30 (Fogelfors 2001). Det innebär att alla typer av växtrester med en kol/kväve-kvot som är mer än 30 resulterar i immobilisering av kväve i marken vid nedbrytning. Då kväve tas från markkvätskan för att ge energi åt de olika nedbrytarna, ger det i teorin en tillfällig förurning i marken. Förurningen gör att baskationer som kalcium, kalium, magnesium och natrium byts ut mot vätejoner och aluminiumjoner och på så sätt sjunker basmättnadsgraden i marken. Detta leder till att exempelvis fosfor binds hårdare i marken (Fogelfors 2015 s 182). Dock blir förurningen ett nollsummespel när mikroorganismerna bryts ner.

Biomassan under markytan

Den underjordiska växtbiomassan omfattar rötter och andra organiska ämnen som utsöndras av rötterna. Rötternas biomassa beror på många olika faktorer, bland annat på hur välutvecklad grödan är, vart i profilen som vatten och näring finns tillgängligt, rötternas storlek och markens porositet m.m. Under ett normalt höstvetebestånd finns mer än 300 000 km rötter per hektar (Kullberg 2014). Är markstrukturen tillfredsställande kan rötterna dra sig ner till 2 meters djup på en väl-dränerad lerjord. En rot kan växa uppemot 3 cm/dygn när den växer som snabbast (Kullberg 2014). Rötternas bidrag till kolhalten i marken är procentuellt sett större än halmens. Detta visar långliggande försök från SLU Ultuna där ca 15 % av halmens kol fastlades i marken, medan motsvarande 35 % av kolinnehållet i rötterna stabiliserades (Kätterer et al. 2011). Enligt ett flerårigt försök från SLU där andelen rötter vägdes för olika grödor fann man att en spannmålsgröda som vårkorn, har ca 2000 kg ts rötter/ha i matjorden (0-25 cm djup) (Bertilsson 2009). Läger man till 20 cm stubb bidrar detta med ytterligare 2600 kg/ha (Nilsson och Bernsson 2009). Då 40 % av rötterna består av kol och 35 % av kolet blir stabilt kol motsvarar detta 280 kg/ha kol från rötterna. Stubben där 15 % blir stabilt kol, bidrar då med 156 kg/ha kol. Totalt bidrag från rötter och stubb blir därmed 436 kg stabilt kol/ha.

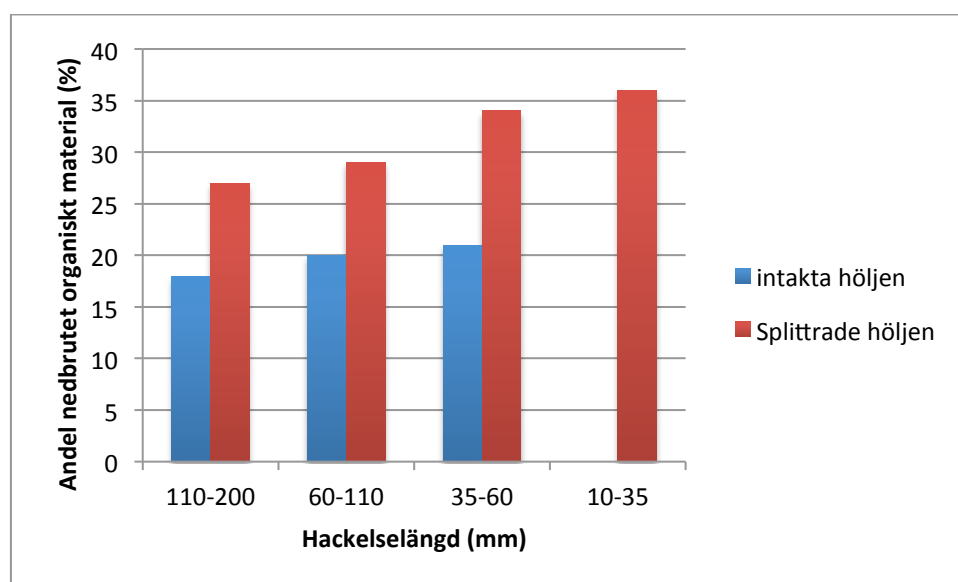
Halmens avkastning

Halmens avkastning varierar från år till år på grund av årsmån, men också beroende på vilken gröda och sort man odlar. Ett svenskt försök där olika stråsädesgrödor och sorter testades fick man fram att vårkorn i snitt hade en kärnskörd på ca 6,2 ton/ha (18 % vh)

vid en stubbhöjd på 20 cm och en medelstrånlängd på 68 cm. Med en halm/kärna-kvot på 0,37 blir detta en halmskörd på ca 2300 kg/ha (Nilsson och Bernsson 2009). Höstvet gav en högre kärnskörd, men också halmskörd. Kärnskörden hos alla de testade sorterna avkastade i snitt 8,1 ton/ha, höstvet gav också högre halm/kärna-kvot, 0,60 vilket gav en halmskörd på 4860 kg/ha (18 % vh) med en medelstrånlängd på 80 cm (Nilsson och Bernsson 2009).

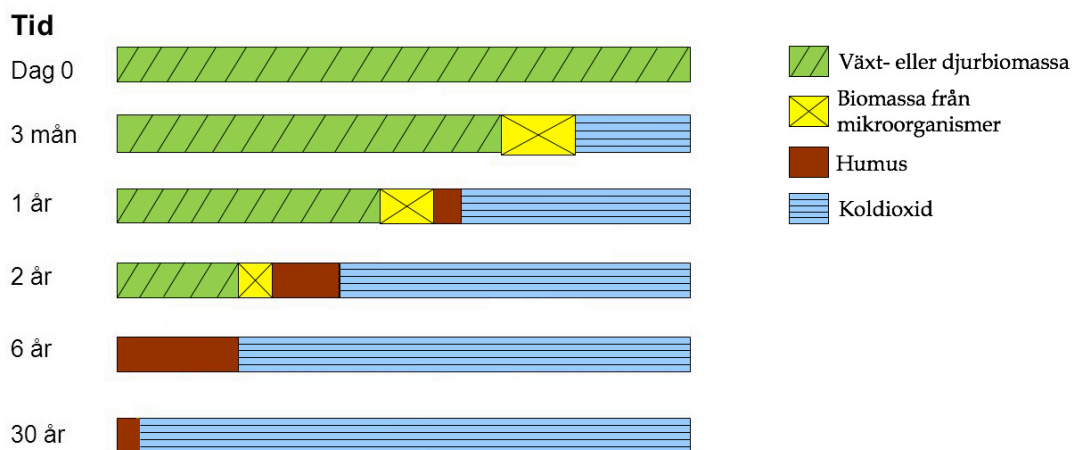
Halmens nedbrytning

Halm som ligger på ytan är benägen att utlakas. Försök har visat att halm som får ligga på ytan och utsättas för regn förlorar mycket av sitt näringsinnehåll, men utstår också en stor förlust av katjoner. Där halm sköljdes med kallt vatten motsvarande tre regnfall under hösten, resulterade detta i att 60 % av mineralämnena i halmen utlakades, framförallt katjoner. Men även 40 % av kväveinnehållet lakades ut (Christensen 1985). Halm som ligger på ytan har också en isolerande effekt mot marken på grund av att halmen reflekterar solstrålarna. Försöksresultat från Norges lantbrukshögskola visade på att motsvarande 4 ton halm/ha sänkte marktemperaturen två centimeter under ytan med 2,5 °C och 1,4 °C 24 centimeter ner i marken (Mattsson 1988). För att undvika denna oönskade utlakning och isolerande effekt brukar man ner halmen i jorden. Det ger också andra fördelar så som en kortare nedbrytningstid än halm som får ligga orörd på ytan eftersom väl nedbrukad halm gör det lättare för maskar, svampar och mikroorganismer att bryta ned den. Även halmens hantering i trösken har betydelse för nedbrytningstiden. Tyska försök har visat att med kort hacksel längd och splittrade höljen bryts drygt 35 % av halmen ner på 42 veckor, jämfört med knappt 20 % för halm med lång hacksel längd och intakta höljen under samma tidsperiod (Wieneke u.å.; Lundin 2001). Se figur 4.



Figur 4. Nedbrytning av halmen i procent beroende på halmens hacksel längd efter 42 veckor (Wieneke u.å.; Lundin 2001).

Vid nedbrytning avgår det mesta av kolet som koldioxid, resterande delar blir bundna i biomassan av bakterier och svampar och en del av halmen omsätts till stabila kolföreningar i marken (SLU 2002a). I goda förhållanden, det vill säga när halmen är nedbrukad, väl hackad och jorden har en temperatur av 15-20 °C och är till hälften vattenmättad, halveras halmens torrsubstansvikt under det första året. Nedbrytningen avtar kraftigt i fart efter de två första åren, då ca 30 % av ursprungsmaterialet återstår. Efter 4-5 år har det mesta av halmen brutits ned av organismerna. Hur mycket kol som fastläggs är inte självklart. Men flera rapporter visar på att i en lerjord fastläggs ca 15 % kol (SLU, 2002b; Lundin, 2001; Nicholson et al, 2014; Kätterer et al. 2011). Det finns dock försök som påvisar lägre eller inget bidrag alls till markkolen från halm, framförallt på sandjordar. Där kom forskarna fram till att skillnaden mellan att bruka ner eller ta bort halmen endast var signifikant på lerjordar med minst 30 % lerhalt (Poeplau et al. 2015). Figur 5 visar hur nedbrytningsprocessen ser ut för växt- och djurrester i marken över tid. Den största delen av biomassan mineralisereras till koldioxid.

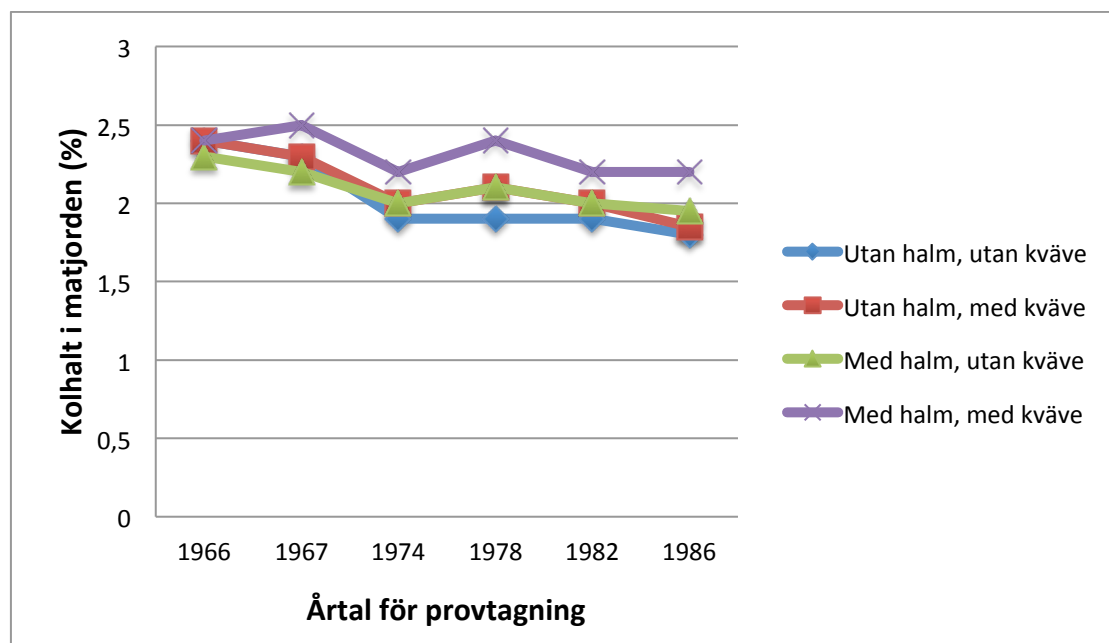


Figur 5. Nedbrytningsprocessen över tid för växtrester i marken (Kätterer et al. 2011).

Resultat från fältstudier

Det finns många försök som gjorts på sambandet mellan halm och kolhalt/mullhalt i marken, både i Sverige och utomlands. Lennart Mattsson, institutionen för markvetenskap vid SLU Uppsala, presenterade 1991 ett försök från Västergötland som pågått i 21 år där man studerat huruvida halmen påverkar kolhalten i matjordslagret; jordarten var mellanlera. Försöket var upplagt i fyra led, där två var utan halm och två där motsvarande 6000 kg halm/ha hade tillförts. För båda behandlingar fanns det ett led utan N-tillförsel och ett där motsvarande 60 kg N/ha hade tillförts. När försöken avslutades visades att i det led där både halm och N hade tillförts var kolhalten 17 % högre och kvävehalten 8 % högre än i det led där varken kväve eller halm hade tillförts. Dock sjönk kolhalten i alla led totalt sett. Mattsson drog slutsatsen att en bidragande

orsak var att plöjningsdjupet ökat från 15-20 cm till 20-25 cm under åren vilket ökade matjordens volym. Minst sjönk kolhalten i det ledet där både halm och N hade tillförts, från 2,4 % till 2,1 %. Som jämförelse sjönk kolhalten mest (från 2,4 % till 1,9 %) i ledet där halmen bortförts och kväve tillförts (Mattsson 1991a).



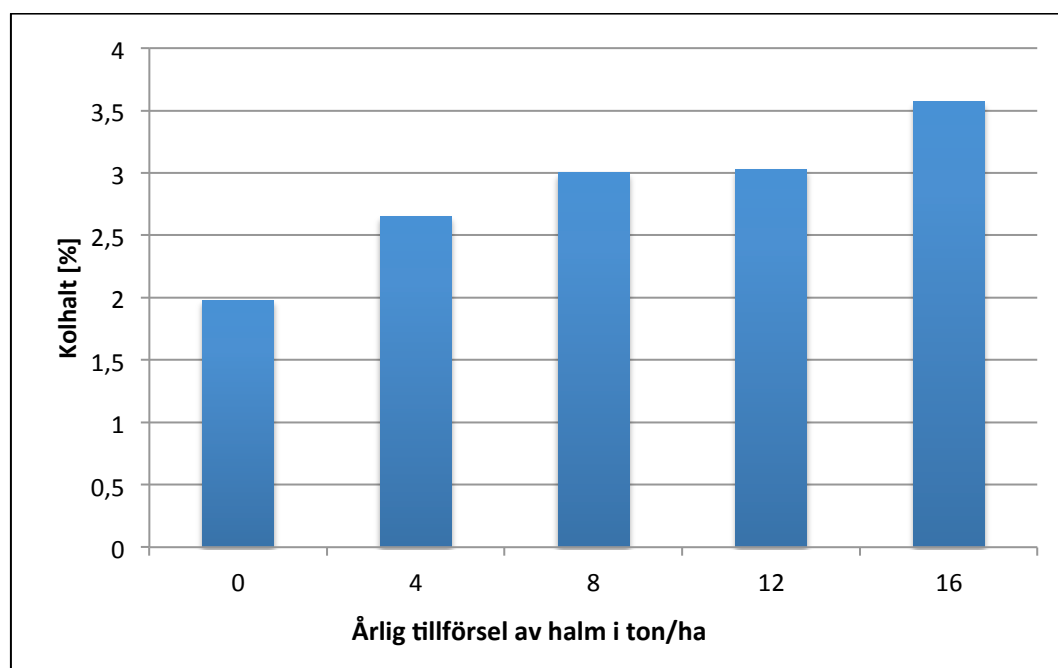
Figur 6. Förändringen i kolhalt under ett fältförsök med olika led där antingen halmen brukades ner eller fördes bort, samt kväve tillfördes eller inte (Mattsson 1991a).

Mattsson presenterade även 2002 en sammanställning med data från fyra olika försök runtom i landet. Sammanställningen fokuserade på kolhaltsförändringen i marken över en period om 20 år. I de olika leden hade man antingen fört bort halmen från fältet, brukat ner halmen eller odlat vall. I det led som halmen brukats ner ökade kolhalten med 0,07 % -enheter jämfört med det led där halmen bärgats från fältet, en ökning på 3,4 %, se Tabell 1 (lodrätt). I försöket ingick också fyra olika kvävenivåer i de tre olika leden för att se om kvävenivån påverkade hur mycket av växtresterna som blev till stabilt kol. Störst effekt hade kvävet i det ledet där halmen bortförts. I ledet där halmen brukats ner förelåg endast en skillnad mellan kvävenivå ett och två, därefter sågs ingen ökning av kolhalten, se tabell 1 (vågrätt) (Mattsson 2002). Uppskattningsvis, beroende på nedbrytarnas tillgång till kväve, vid god tillgång går nedbrytningen fortare och mindre kol stabiliseras som kan bidra till kolhalten i marken (Eriksson et al. 2014 s 115).

Tabell 1. Kolhalt (%) i matjorden sammanställd från fyra olika försök där halmen antingen förts bort kontinuerligt eller brukats ner, samt ett led där vall fanns i växtföljden (lodrätt). Samt kväveförsök där fyra olika kvävenivåer har tillförts i varje led för att se kvävet påverkan på hur mycket kol som stabiliseras (vågrätt) (Mattsson 2002).

Kväve-nivå	Halm bortförd	Halm nedbrukad	Vall
1	1,99	2,02	2,20
2	1,96	2,13	2,21
3	2,03	2,13	2,23
4	2,10	2,13	2,13
Medeltal:	2,03	2,10	2,19

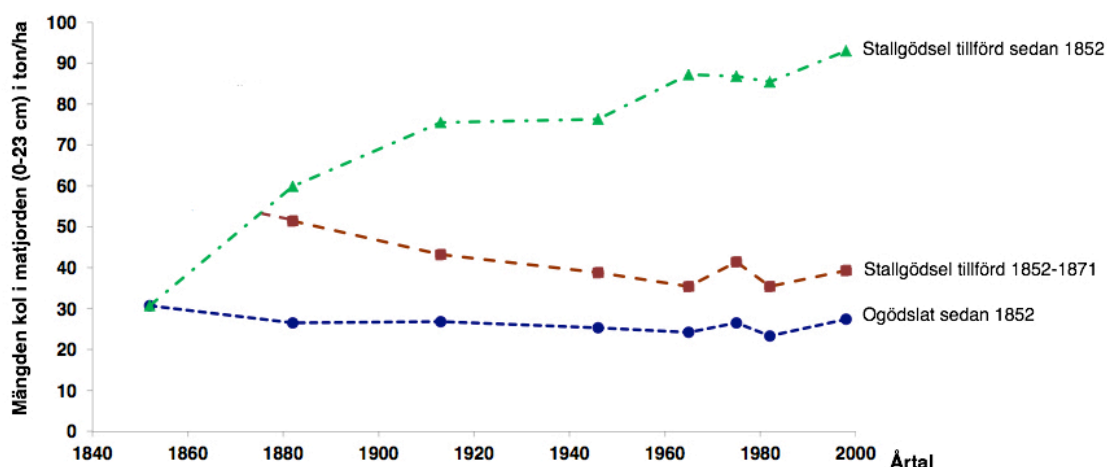
Ett annat försök var ett 26 år långt kärkförsök, även detta från institutionen för markvetenskap vid SLU i Uppsala. I denna studie tillförde man olika mängder halm i hälften av kärnen vartannat år. Utgångsläget för kolhalten var 1,98 %. Resultatet blev att kolhalten ökade i alla led där halm tillfördes. I det ledet där minst halm tillfördes (motsvarande en årlig tillförsel på 4000 kg/ha) ökade kolhalten till 2,65 %. I det ledet som fick mest halm (motsvarande en årlig tillförsel på 16 000 kg/ha) steg kolhalten till 3,57 %. se Figur 5, (Persson et al. 2006).



Figur 6. Försöksresultat som visar förändringen av kolhalten i % efter ett 26 år långt försök där olika mängder halm tillfördes (Persson et al. 2006).

I England avslutades år 2000 ett försök som legat sedan 1852. I försöket hade man jämfört skillnaden i kolhalt i matjorden mellan tillförsel av stallgödsel och ogödslat. Stallgödsel har ett högre bidrag till kolhalten än halm, kolinnehållet är ca 50 % vilket är något mer än i halm och 25-30 % av det stabiliseras (Kätterer et al. 2011).

Mikroorganismerna som finns i stallgödsel har oftast omsatt det organiska material som finns i gödseln innan den kommer till fältet, det innebär att det mesta av kolet som återstår redan är stabilt och ger därför ett snabbt bidrag till markkolen (Johansson 1993). I försöket fick första ledet ingen typ av gödselmedel under hela försöksperioden (1852-2000). Andra ledet fick 35 ton stallgödsel per hektar under de första 20 åren och därefter inget. Det tredje och sista ledet fick 35 ton stallgödsel per hektar under hela försöksperioden. Resultatet blev att det ogödslade ledet hade en svagt sjunkande kolhalt över hela perioden. Det andra ledet visade en kraftig höjning i kolhalten under de år då stallgödseln tillfördes för att sedan sjunka neråt igen när gödsel slutade att tillföras. Sista ledet som fick stallgödsel under hela perioden hade en kraftigt uppåtgående kurva som emot slutet av försöket planade ut och närmade sig sin jämviktsnivå. Kolhalten hade då ökat med närmare 300 %, från 30 ton kol/ha (motsvarande en kolhalt på ca 1 %) till ca 85 ton kol/ha (motsvarande en kolhalt på 2,8 %), se figur 7 (Johnston et al. 2009).



Figur 7. Långliggande försök från England där man gjort tre behandlingar och studerat kolhaltens förändring under 150 år. Blå linje (cirklar) visar ogödslat led. Den röda linjen (kvadrater) visar det led där man tillförde 35 ton/ha stallgödsel de första 20 åren och därefter inget. Den gröna linjen (trianglar) visar årlig tillförsel av 35 ton/ha stallgödsel över hela försöksperioden (Johnston et al. 2009).

Det finns också studier som visat korrelationer mellan kolhalt och skördenivå, där en högre kolhalt i marken betytt en högre skörd. Långliggande försök från Fjärdingslöv i Skåne och Bjertorp i Västergötland visar en nedåtgående trend både vad gäller kolhalt och skördenivå. Från 1990-2005 sjönk kolhalten från 1,5 % till 1,3 %, och skörden minskade med 7 %. Vilket inneburit en skördesänkning på 3,5 % per procentenhet kolhalt. På Bjertorp var sänkningen aningen större. Där sjönk kolhalten med två procentenheter från 2,0 till 1,8 %. Skörden sjönk med totalt 10 %, vilket ger 5 % skördesänkning per procentenhet kolhaltssänkning.

Beräkna kolbalansen

För att få en fingervisning om huruvida man som enskild lantbrukare har sjunkande eller stigande kolhalt kan man ta ett jordprov för att se aktuell kolhalt i matjorden. Därefter kan man beräkna hur stort tillflödet av kol är per år och hur stort utflödet är. Man får då en fingervisning om vart man är på väg. Framförallt med fokus på om man brukar ner halmen eller för bort den från fälten. Detta räkneexempel utgår ifrån en kolhalt på 1,5 %. Uppskattningsvis väger lerjord med ett matjordsskikt på 20 cm ca 3000 ton/ha (Schmidtbauer 1998). En kolhalt på 1,5 % motsvarar då ca 45 ton C/ha. Den årliga mineraliseringen uppgår till ca 1,5 % i snitt (Persson 2003) vilket ger ett utflöde av kol motsvarande 675 kg per år.

Exempelskörd höstvetete: 8100 kg/ha (Nilsson och Bernesson 2009), halmen förs bort. Rötter: 2000 kg/ha organiskt material, varav 40 % kol = 800 kg/ha kol som blir den årliga tillförseln. Av rötternas kol kan 35 % anses bli stabiliserat i marken (280 kg/ha). Stubb: 2600 kg/ha, även det består till 40 % av kol (1040 kg/ha) och 15 % fastläggs i marken (156 kg/ha) Vilket ger ett inflöde varje år av stabilt kol på 436 kg/ha. Vilket i sin tur resulterar i ett årligt underskott av kol på 239 kg/ha. Denna trend skulle sedan fortgå tills dess att jämnviktsläge uppnås, d.v.s. vid en kolhalt strax under 1 %. Dock skulle det ta närmare 70 år innan inflödet och utflödet blir lika stort och ett nytt jämnviktsläge uppnås.

Om halmen istället återförs till marken och brukas ner blir tillförseln av kol desto större. Vid samma exempelskörd och ett förhållande mellan halmskörd och kärnskörd som är 0,6 blir halmskörden 3985 kg/ha torrsustans (Nilsson och Bernesson 2009). Räknar man med att 40 % av biomassan som består av kol och 15 % blir stabilt kol, det motsvarar 239 kg/ha stabilt kol från halmen. Läger man sedan ihop mängden kol från rötterna, stubben och halmen blir det totala tillförseln av stabilt kol 675 kg per år. Detta ger istället ett teoretiskt jämnviktsläge där inflödet och utflödet av kol är detsamma, vilket innebär att kolhalten skulle stabiliseras och stanna kvar på en konstant nivå tills dess att någon av parametrarna i denna beräkning ändras. Märk väl att detta är väldigt generella siffror, små justeringar ger stora skillnader i slutändan. För utförliga beräkningar se bilaga 1a och 1b.

DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Sammanfattningsvis kan man säga att halm kan ha stor betydelse för kolhalten i marken. Hur markkolshalten utvecklas beror på lokala förutsättningar geografiskt men också på hur den enskilda växtodlingen ser ut. En växtföljd med vallodling och regelbunden tillförsel av stallgödsel ger generellt bättre förutsättningar till en högre kolhalt i marken än en spannmålsintensiv växtföljd utan direkta avbrottsgrödor. Det är också svårt att säga exakt vad och hur mycket som påverkar markkolen.

Beroende på hur det enskilda fallet ser ut spelar alltså halmen olika stor roll som jordförbättring. Därför är det svårt att presentera generella svar om halmen betydelse för markkolen, men följande aspekter är viktiga att beakta:

- Det är svårt att veta om man har sjunkande eller stigande kolhalt i sitt fält, det är små förändringar som sker över väldigt lång tid. Hur snabbt förändringar av odlingsegenskaperna, i form av vattenhållande förmåga, strukturförändringar, näringstillgänglighet osv, syns är svårt att säga och troligtvis väldigt individuellt. Jordprover bör därför tas regelbundet för att kunna få en fingervisning.
- Markkolshalten är stabil när den tillförda mängden kol som stabiliseras är i jämnvikt med mängden kol som mineraliseras. Givet en genomsnittlig tillförsel av kol så kommer kolhalten att sjunka eller stiga till dess att jorden når jämnviktsläget, för att sedan stabilisera sig där.
- Halmskörden går att påverka för att försöka få ett så stort tillskott till markkolen som möjligt. Främst genom att odla sorter som ger så långa strån som möjligt och undvika att använda tillväxtreglerande preparat.
- Genom att behandla halmen hårt i trösken och se till att man har väl slipade knivar i hacken ges en bra förutsättning för nedbrytarna att kunna omsätta halmen i marken.
- Ska halmen stanna kvar på fältet ska den också brukas ner på ett eller annat sätt. Utlakningen av halmens näringsinnehåll och den temperatursänkning som blir i marken på grund av halmtäcket gör att gröningshastigheten på t ex en nysådd höstgröda sjunker och det tar länge tid innan uppkomst.
- På jordar med låg lerhalt kan halmens bidrag till markkolen vara väldigt låg. På dessa jordar kan halmen exporteras utan större effekt på markkolshalten. För att öka markkolshalten bör man då istället odla grödor som bidrar med större mängder rotbiomassa, t ex vall.
- Huruvida den faktiska skörden kommer att öka för varje procentenhet som kolhalten gör är svårt att förutse. Det är många andra faktorer som påverkar skörden och därför är det svårt att säga att förändringarna i skörd beror endast på

kolhalten. Rimligen så ökar skördepotentialen för varje procentenhet som kolhalten ökar.

- Den åkermark vi har är den enda och bör också tas om hand därefter. Jordförbättrande processer tar mycket lång tid och man bör därför utarbeta en plan hur man ska åstadkomma en högre kolhalt i sin jord om man finner det intressant. Sedan gäller det att stå fast vid den och ha tålamod.
- En hög intensitet i odlingen kan öka bidraget till markkolen. Högre skördar ger mer växtrester både ovan och under jord och därmed mer kol till marken.

Min slutsats blir därför, att jorden troligtvis kommer alltid att svara positivt på en ökad inblandning av halm genom att lagra in mer kol. Däremot finns ingen garanti att kolhalten i marken kommer att höjas avsevärt. Även om man får en fortsatt sjunkande kolhalt kommer sänkningen att bromsas in genom att bruka ner halmen om man inte redan gör det och därmed komma närmare jämviktsläge innan sänkningen neutraliseras. Den som idag har en stabil kolhalt och för bort halmen har istället alla möjligheter att få en stigande trend gällande markkolshalten. Medan man på andra håll kommer kunna hålla sin kolhalt på en stabil och säker nivå genom att regelbundet bruka ner halmen och därmed nå jämviktsläge på en högre nivå än vad som annars hade inträffat om halmen förts bort från fältet. Om endast nedbrukning av halm inte är tillräckligt för att höja kolhalten kan det vara aktuellt med ytterligare åtgärder, exempelvis regelbundet tillföra stallgödsel eller mellangrödor som brukas ner. Det bästa är att ta jordprov på sina egna fält för att få reda på exakt den kolhalt man har, därefter kan man använda den typ av beräkningen som presenterades ovan, med egna uppskattade eller bekräftade värden. Det kommer inte att ge ett exakt svar men åtminstone en fingervisning.

REFERENSER

Bertilsson, G. 2009. *Odlingsperspektiv, bakgrund och dokumentation* [online] tillgänglig <http://www.greengard.se/Odlingsperspdok090716.htm>
Hämtad 2016-04-25

Bertilsson, G. 2008. *Cpersp – en räknemodell för att ge perspektiv på kolet i marken* [online] tillgänglig <http://www.greengard.se/Odlingsperspdok090716.htm>
Hämtad 2016-04-22

Bertilsson, G. *Växtföljdens roll långsiktigt – för skördenivå, utsläpp av växthusgaser och kolinlagring i åkermark* [elektroniskt] tillgänglig <http://www.greppa.nu/download/18.44bedb3513533e95e618000230/1370104321647/14+Växtföljdens+roll+Göte+Bertilsson.pdf>
Hämtad 2016-04-20

Blomquist, J. Bertilsson, G. 2009. *Se på C med nytt perspektiv* [online] tillgänglig <http://www.greppa.nu/download/18.724b0a8b148f52338a34f0a/1414410839008/Arvens+is+nr+1+2009+Se+på+C+med+nytt+perspektiv.pdf>
Hämtad 2016-04-15

Christensen, B.T. 2000. *Organic matter in soil-structure, function and turnover*. Danish institute of Agricultural Sciences. Plant production, NO 30. Dias report.

Christensen, B. T. 1985. *Wheat and barley straw decomposition under field conditions: effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content*. Soil Biology and Biochemistry, 17; 691-697.

Emmerman, A., Eriksson, J., Hammar, O., Hårsmar, P.O., Jansson, S.L., Ledin, S., Linnér, H., Nilsson, I. 1999. *Växtodling 1, Marken*. Stockholm.

Eriksson, J., Mattsson, L., Söderström, M. 2010. *Tillståndet i svensk åkermark och gröda, data från 2001-2007*. Naturvårdsverket. Stockholm.

Eriksson, J., Söderström, M. 2009. *Halt organiskt material i matjorden*. Institutionen för mark och miljö, SLU. Uppsala.

Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I., Simonsson, M. 2014. *Marklära*. Malmö.

Fogelfors, H. 2001. *Växtproduktion i jordbruket*. Borås.

Granstedt, A. 2003. *Markens egenskaper och markvård i ekologisk grönsaksodling*. Stiftelsen biodynamiska forskningsinstitutet. Järna.

Greenland, D.J., Rimmer, D. and Quirk, J.P. (1975). *Determination of the structural stability class of English and Welsh soils, using a water coherence test*. Journal of Soil Science 26, 294-303.

Holmes, M.R.J. 1980. *Nutrition of the oilseed rape crop*. London.

Jarlsvik, T., Kyllmar, K., Nordh, E. 1994. *Kväve och energi – viktiga markbiologiska fundament*. Fakta – Mark/växter, nr 12.

Johansson, U. 1993. *Kompostering av stallgödsel*. Lantbruksenheten, Länsstyrelsen. Linköping.

Johnston, A. E., Poulton, P. R. and Coleman, K. (2009) *Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes*, Advances in Agronomy, 101, 1-57

Jordbruksverket. 2005. *Jord i god kultur*. Jordbruksinformation 7. Jönköping.

Jordbruksverket. 2002. *STANK, växtnäringsberäkningsprogram*. Version 4.21.

Knudsen, L., Østergaard, H. & Schultz, E. 2000. *Gødskning med kvælstof. Kvælstof – et næringsstof og et miljøproblem*. Landbrugets rådgivningscenter. Århus. Danmark.

Kullberg, R. 2014. *Den optimala markbördigheten*. Institutionen för biosystem och teknologi, SLU. Alnarp.

Kätterer, T. *Hur påverkas marken av växtföljd, tillförsel av organiskt material och jordbearbetning* [elektroniskt] tillgänglig

http://www.greppa.nu/download/18.1b8a384c144437186ea54d8/1393322402980/Växtföljd+och+organiskt+material_Thomas+Kätterer.pdf

Hämtad 2016-04-24

Kätterer, T., Bolinder, M.A., Andrén, O., Kirchmann, H., Menichetti, L. 2011. *Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment*. Institutionen för mark och miljö, SLU. Uppsala

Loveland, P & Webb, J (2003). *Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review* Soil & Tillage Research. 70, 1-18

Lundin, G., Rönnbäck, M. 2010. *Samtidig skörd av halm och agnar för energiändamål*. Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.

Lundin, G. 2001. *Halmens hackselängd vid skördetröskning – tekniska möjligheter och biologiska effekter*. Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.

Mattsson, L. 2002. *Soil organic C development in cereal and ley systems. Data from 20 years old Swedish field experiments*. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 48, 107-115.

Mattsson, L. 1991a. *Effekter av årlig halmtillförsel på mark och gröda*. Institutionen för markvetenskap, SLU. Uppsala.

Mattsson, L. 1991b. *Kvävemineralisering och rotproduktion vid odling av några vanliga lantbruksgrödor*. Institutionen för markvetenskap, SLU. Uppsala.

Mattsson, R. 1988. *Plöjningsfri odling och direktsådd*. Konsulentavdelningen, SLU. Uppsala.

Naturvårdsverket. 2016. *Organiskt kol i åkermark* [online] tillgänglig <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Miljoovervakning/Bedomningsgrunder/Odlingslandskap/Akermarkens-kvalitet/Organiskt-kol/>
Hämtad 2016-04-15

Nicholson, F., Kindred, D., Bhogal, A., Roques, S., Kerley, J., Twining, S., Brassington, T., Gladders, P., Balshaw, H., Cook, S., Ellis, S. 2014. *Straw incorporation review*. ADAS Gleadthorpe. Nottinghamshire.

Persson, J., Carlgren, K., Mattsson, L. 2006. *Halmnedbrukning – effekt på skörd och mark*. Institutionen för markvetenskap, SLU. Uppsala.

Persson, J. 2003. *Kväveförluster och kvävehushållning, förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk*. Institutionen för markvetenskap, SLU. Uppsala.

Poeplau, C., Bolinder, M. A., Eriksson, J., Lundblad, M., and Kätterer, T. 2015. *Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers*. Biogeosciences 12, 3241–3251 ss.

Pribyl, D. W. (2010). *A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor*. Geoderma 156(3–4): 75-83

Schmidtbauer, P. 1998. *Markmiljö för träd och buskar*. Movium, SLU. Uppsala.

Spink, J., Hackett, R., Forristal, D., Creamer, R. 2010. *Soil Organic Carbon: A review of 'critical' levels and practices to increase levels in tillage land in Ireland*. Teagasc, Oak Park Crops Reserach Centre, Carlow, Ireland.

Svenska golfförbundet. 2006. *Golfskötselhandboken* [elektronisk] tillgänglig https://www.golf.se/contentassets/8a05e69c6e834a0aa11d8cfea0af8f60/kap_3_marklara.pdf
Hämtad 2016-04-20

Sveriges Lantbruksuniversitet. 2002b. *Nedbrytningsexperiment – dataanalys* [online] tillgänglig <http://www-vaxten.slu.se/marken/experiments/nedbrytningsexp.htm>
Hämtad 2016-04-28

Sveriges Lantbruksuniversitet. 2002a. *Förmultning och humusbildning*
[Online] tillgänglig
http://www-vaxten.slu.se/marken/formultning_humus.htm
Hämtad 2016-05-08

Wieneke F. *A New Fibrous Macerating Straw Cutter for Combines*. Institut für
Agrartechnik, Universität Göttingen. Plats och tidpunkt för publicering okänd.

BILAGOR

Bilaga 1a

Beräkning av kolhalt

Mängd matjord (ton/ha)	3000
Andel kol i matjorden (%)	1,5%
Mängd kol i matjorden (ton/ha)	45

Årlig mineralisering av kol (%)	1,5%
Årligt utflöde av kol (kg/ha)	675

Biomassa, rötter (kg/ha)	2000
Kolinnehåll (%)	40%
Andel stabilt kol (%)	35%
stabilt kol från rötter (kg/ha)	280

Biomassa, stubb (kg/ha)	2600
kolinnehåll (%)	40%
Andel stabilt kol (%)	15%
stabilt kol från stubb (kg/ha)	156

Biomassa halm (kg/ha)	0
kolinnehåll (%)	40%
Andel stabilt kol (%)	15%
Stabilt kol från halm (kg/ha)	0

Totalt inflöde av kol (kg/ha)	436
-------------------------------	-----

Summa över-/underskott (kg/ha)	-239
---------------------------------------	-------------

Beräkning av kolhalt

Mängd matjord (ton/ha)	3000
Andel kol i matjorden (%)	1,5%
Mängd kol i matjorden (ton/ha)	45

Årlig mineralisering av kol (%)	1,5%
Årligt utflöde av kol (kg/ha)	675

Biomassa, rötter (kg/ha)	2000
Kolinnehåll (%)	40%
Andel stabilt kol (%)	35%
stabilt kol från rötter (kg/ha)	280

Biomassa, stubb (kg/ha)	2600
kolinnehåll (%)	40%
Andel stabilt kol (%)	15%
stabilt kol från stubb (kg/ha)	156

Biomassa halm (kg/ha)	3985
kolinnehåll (%)	40%
Andel stabilt kol (%)	15%
Stabilt kol från halm (kg/ha)	239

Totalt inflöde av kol (kg/ha)	675
-------------------------------	-----

Summa över-/underskott (kg/ha)	0
---------------------------------------	----------